



SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)

Proyecto "Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas
y de Recursos Naturales en Honduras" (Proyecto Ecosistemas)

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

Guía Metodológica para el Establecimiento de Microcentrales Hidroeléctricas en Areas Rurales



La Lima, Cortés, Honduras, C.A.

Abril de 2009



SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)

Proyecto "Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas
y de Recursos Naturales en Honduras" (Proyecto Ecosistemas)

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

Guía Metodológica para el Establecimiento
de Micro Centrales Hidroeléctricas en Áreas Rurales

333.914 Proyecto "Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales P96 en Honduras" (Proyecto Ecosistemas).

C. H. Guía metodológica para el establecimiento de microcentrales hidroeléctricas en áreas rurales / Proyecto "Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales en Honduras" (Proyecto Ecosistemas).-- [Tegucigalpa]: [Hondupress Litografía], [2009] 42 p.: Cuadros, gráficos,il

ISBN: 978-99926-762-3-3

1.- RECURSOS HIDROLOGICOS. 2.- ENERGIA HIDRAULICA. 3.- CENTRALES ELECTRICAS.

"Generando beneficios globales ambientales, a través de la canalización de principios de manejo integrado de ecosistemas en las operaciones de los proyectos de desarrollo rural"



© Reservados todos los derechos

Guía metodológica para el establecimiento de microcentrales hidroeléctricas en áreas rurales.
1era Edición

Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG)

Proyecto "Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales en Honduras" (Proyecto Ecosistemas)

Oficina principal

Col. Tres Caminos, 7ma calle, bloque 1, casa # 127

Telefax: (504) 231-1800 y 235-9019

Tegucigalpa, M.D.C., Honduras C.A.

Correo electrónico: ecosistemas@cablecolor.hn

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

Contiguo a Instituto Patria, La Lima, Cortés, Honduras, C.A.

Tels: (504) 668-2470, 668-2804

Fax: (504) 668-2313

Correo electrónico: fhia@fhia.org.hn

www.fhia.org.hn

Elaborado por

Ing. Roberto Fromm (FHIA)

Ing. José Peralta Pérez (Proyecto Ecosistemas)

Revisión

Proyecto Ecosistemas: Ing. Nelson Ulloa Colindres e Ing. Benjamín Bustamante Valladares

FHIA: Ing. Marco Tulio Bardales

Diseño: Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA

Impresión: Hondupress Litografía

Abril, 2009

Se autoriza la reproducción total o, parcial del material contenido en este documento, para fines educativos y no comerciales, siempre que se cite claramente la fuente.

PRESENTACION

Ante la carencia de servicios básicos en las zonas rurales de nuestro país, las poblaciones humanas carecen de condiciones de vida satisfactorias que garanticen el equilibrio sociedad-ambiente, provocando de esta manera una creciente e inequívoca presión sobre el uso de los recursos naturales con los que cuentan.

Siendo la norma que estas comunidades rurales no cuentan con servicios básicos como el suministro de energía eléctrica, y según las condiciones geográficas estas se encuentran situadas en su mayoría en zonas aisladas y muy cerca de fuentes de agua. Una alternativa viable hacia sufragar esta demanda es el establecimiento de Micro Centrales Hidroeléctricas (MCH); caracterizándose estas como proyectos de bajo impacto ambiental a ser considerados como una estrategia de desarrollo, visto de una manera integral y orientado hacia la valorización, manejo y acceso al recurso hídrico y la gestión sostenible de los recursos naturales comprendidos en las microcuencas, a fin de garantizar la provisión de los servicios que de estas se generan.

A pesar del desarrollo de este tipo de proyectos en algunas zonas del país, el relativo desconocimiento en la valorización del recurso hídrico y de las condiciones de sitio relacionado con la generación de energía eléctrica mediante la implementación de micro centrales hidroeléctricas, han sido un factor que ha impedido la difusión de estas experiencias en beneficio de las poblaciones que mas lo necesitan.

En este sentido, la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) mediante el Proyecto “Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales en Honduras” (Proyecto Ecosistemas) en coordinación con la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) pone a la disposición el documento “Guía Metodológica para el Establecimiento de Micro Centrales Hidroeléctricas en Areas Rurales” como una herramienta técnica, a fin de proveer el conocimiento y la experiencia para la valorización de sitios con potencial hidroeléctrico, viéndolo de una manera integral hacia el manejo de los recursos naturales y la mejora en la condición de vida de las poblaciones.

Este documento comprende de manera puntual el principio de generación hidroeléctrica a pequeña escala, y resume paso a paso el procedimiento a seguir y las consideraciones a tomar en cuenta para sugerir la viabilidad técnica para el establecimiento de MCH, cubriendo así aquellos vacíos en las capacidades técnicas de aquellas instancias vinculadas al desarrollo social bajo el enfoque de sostenibilidad.

Ing. Héctor Hernández Amador
Ministro de la Secretaría de
Agricultura y Ganadería (SAG)

Ing. Benjamín Bustamante
Coordinador Nacional
Proyecto Ecosistema

Dr. Adolfo Martínez
Director General
FHIA



CONTENIDO

I. INTRODUCCION.....	1
II. USO DEL RECURSO HIDRICO.....	2
2.1. Ciclo hidrológico.....	2
2.2. Conservación y manejo de cuencas.....	3
III. PRINCIPIOS CONCEPTUALES.....	5
3.1. Central hidroeléctrica.....	5
3.1.1. Tipos de centrales hidroeléctricas.....	6
3.1.2. Impactos ambientales potenciales.....	7
3.2. Concepto de Micro Central Hidroeléctrica.....	8
3.3. Microhidroturbinas.....	9
3.3.1. Clasificación de las microhidroturbinas.....	9
3.3.2. Criterios de selección de microhidroturbinas.....	13
3.4. Componentes de una Micro Central Hidroeléctrica.....	13
3.4.1. Obras civiles.....	13
3.4.2. Otros componentes.....	18
3.4.3. Operación y mantenimiento del sistema.....	20
IV. PASOS PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA MHC.....	21
4.1. Selección de la microcuenca.....	21
4.2. Evaluación del sitio.....	22
4.2.1. Caudal.....	22
4.2.2. Salto de agua (desnivel o altura).....	30
4.2.3. Cálculo de potencia de generación hidroeléctrica.....	34
4.3. Aceptación de la comunidad.....	35
4.4. Equipo apropiado y presupuesto.....	35
4.5. Desarrollo de las obras civiles.....	35
4.6. Instalación del sistema.....	36
4.7. Capacitación.....	36
V. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA MHC.....	37
5.1. Preselección de sitios adecuados.....	37
5.2. Medición y monitoreo de caudales.....	37
5.3. Equipo y materiales disponibles.....	37
5.4. Infraestructura y distribución comunitaria.....	37
5.5. Condición de la demanda comunitaria y sus responsabilidades.....	38
5.6. Gestión y manejo de proyectos de MCH.....	38
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	39
VII. GLOSARIO.....	40

I. INTRODUCCION

Honduras, considerado un país rico en recursos naturales, con un 87% de sus tierras de vocación natural forestal y un 41.5% del territorio cubierto aún de bosque, cuya importancia social, económica y ambiental radica en su amplia diversidad biológica y en sus reservas hidrográficas para la producción de agua, afronta grandes problemas en cuanto a la acelerada pérdida de la cobertura boscosa, la cual se estima en una depredación anual de 80,000 ha de bosque, llevando a una precipitada pérdida de su valoración económica natural, reflejada principalmente en el deterioro de los recursos hídricos y la erosión de los suelos.

Ante tales circunstancias, la identificación de los bienes y servicios ambientales contemplan numerosas opciones de productos o servicios que brindan los ecosistemas, los cuales tienen una escasa valoración y reconocimiento por parte de los consumidores o usuarios; entre estos servicios sobresalen los servicios hidrológicos e hidroeléctricos. La valoración de estos bienes y servicios ambientales sugiere la necesidad de implementar estrategias de desarrollo desde un punto de vista integral, vista como el ordenamiento de todas las acciones que los diferentes actores de los territorios asumen con la finalidad de recuperar y mantener los recursos naturales.

La utilización del recurso hídrico como una fuente para la generación eléctrica a pequeña escala, constituye una alternativa apropiada para aldeas rurales de Honduras a través de la instalación de microcentrales para la generación de energía con el propósito de mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

En términos de generación de electricidad a pequeña escala, los proyectos microhidro combinan las ventajas de los proyectos grandes y el manejo descentralizado de la generación obtenida; tampoco tienen la desventaja de una línea de transmisión costosa o la dependencia de los combustibles fósiles tan escasos hoy en día. Los proyectos microhidro en general se caracterizan por tener una inversión inicial elevada y un bajo costo de operación y mantenimiento.

Esta elevada inversión inicial es una barrera para la ejecución de proyectos microhidro en países en desarrollo. No obstante, por su larga vida útil y bajo costo de mantenimiento las microhidrocentrales bien planificadas y apropiadamente operadas conservan una relación costo/beneficio aceptable, especialmente cuando son fabricadas localmente dentro de las especificaciones de calidad apropiadas.



Figura 1. Las quebradas con mayor pendiente natural son las más apropiadas para la generación de electricidad en pequeña escala.

II. USO DEL RECURSO HIDRICO

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía comenzó en tiempos antiguos con el uso de ruedas hidráulicas muy rudimentarias pero que permitían la producción de fuerza motriz para aliviar el trabajo manual del hombre.

Las ruedas hidráulicas más evolucionadas acompañaron el nacimiento de la era industrial, aun antes de la llegada del motor a vapor. La revolución industrial con su fuerte demanda energética movilizó el desarrollo tecnológico de los procesos de conversión de energía y la rueda hidráulica fue superada por la turbina a finales del siglo XIX.

La fuerza mecánica primero y la energía eléctrica después fueron los productos energéticos, con que el recurso hídrico contribuyó, y lo continúa haciendo en la actualidad, con el progreso económico y la mejora de la calidad de vida de la población.

El proceso de **conversión del recurso hídrico** más difundido en la actualidad es la **producción de energía eléctrica**, el cual permite alcanzar altos niveles de eficiencia en la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica.

2.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un ciclo perfecto puesto que no ocurren pérdidas ni aportaciones adicionales a través del tiempo y la misma cantidad de agua que se ha evaporado de las superficies de los océanos, lagos, ríos y embalses que circundan el globo terráqueo, regresa a la tierra en forma de precipitación.

El ciclo del agua comienza cuando la radiación solar calienta las superficies mencionadas y se evapora una parte del agua acumulada, el vapor de agua a medida que sube hacia la atmósfera se enfría y se condensa en forma de nubes que son llevadas alrededor de la tierra por las corrientes de aire. Cuando las partículas de agua en las nubes chocan entre sí aumentan de tamaño hasta que caen nuevamente a la tierra en forma de precipitación. Esta precipitación puede ocurrir en forma de lluvia, nieve, escarcha o granizo y aunque la mayor parte de la precipitación cae a los océanos, una fracción de ella siempre es devuelta a los continentes. Una parte de esta precipitación debido a la gravedad, escurre sobre la superficie de las montañas formando los arroyos, quebradas y ríos que eventualmente llegan a los océanos.

Anualmente, de los océanos se evaporan unos 335,000 km³ de agua y de las masas continentales unos 65,000 km³ incluyendo lagos, ríos, glaciares y embalses. Para que haya un balance entre las pérdidas por evaporación, debe ocurrir una precipitación igual a 400,000 km³ de agua. De esta magnitud solamente 100,000 km³ de agua se precipitan sobre los continentes. Se estima que cada año la evapotranspiración terrestre alcanza un 19% del agua evaporada de los océanos.

Es muy importante entender el ciclo hidrológico para comprender el concepto de la generación hidroeléctrica a cualquier escala. Decimos que la electricidad generada por una hidrocentral es renovable porque el recurso agua en la tierra es reabastecido continuamente por la precipitación derivada del ciclo hidrológico.

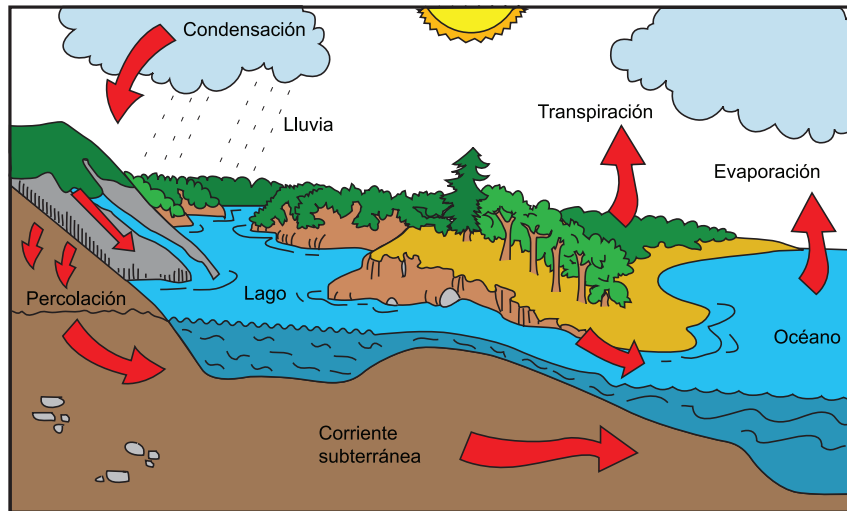


Figura 2. Esquema del ciclo hidrológico.

2.2. Conservación y manejo de cuencas

El concepto de cuenca se define como una superficie geográfica de tamaño determinado, que con la ayuda de los recursos bióticos que la componen (flora y fauna) drenan sus aguas hacia un punto de interés común y cuyos límites son los filos montañosos que la rodean.

En principio la protección de una fuente de agua, consiste en asegurar que la cuenca mantenga las condiciones necesarias para retener el agua que periódicamente recibe de las lluvias. Bajo este esquema habrá que entender que **la cuenca** y sus componentes naturales (suelo, bosques, manantiales, etc.) son los medios apropiados para el servicio del agua.

La protección del área de la cuenca representa la garantía en la producción de agua de la fuente en cantidad y calidad, y que se mantendrá dentro de los límites aceptables para el abastecimiento de las poblaciones para sus diversos usos: agua potable, irrigación, generación de energía eléctrica, etc. La comunidad debe conocer la importancia de la cuenca como un elemento vital para el suministro sostenible del recurso agua y las acciones que debe ejecutar para preservarlo.

El bosque natural que cubre la cuenca está integrado por cuatro elementos importantes a considerar: el agua, la flora, la fauna y el suelo. Estos elementos interactúan entre si para

darle al sistema el equilibrio necesario. Por lo tanto, la protección efectiva de la cuenca está basada en el manejo y aprovechamiento planificado de cada uno de estos elementos.

En términos generales, el **manejo de cuencas** se puede definir como la aplicación de principios y métodos para el uso racional e integrado de los recursos naturales en la cuenca, fundamentalmente agua, suelo y vegetación, a fin de lograr la conservación sostenida de estos recursos para beneficio de los pobladores de la cuenca y de las poblaciones vinculadas a ella. De tal manera que el **manejo integrado de cuencas** debe ser una visión de conjunto, incorporando todos sus espacios y elementos considerando a todos los actores. Cada elemento o componente es importante y tiene una función, por lo tanto el funcionamiento de una cuenca debe analizarse como un todo. Por ello es imprescindible la participación activa de la población local debidamente organizada, con el apoyo coordinado de las instituciones públicas y privadas.



Figura 3. El manejo de la microcuenca es un compromiso que la comunidad debe asumir con responsabilidad para el aprovechamiento eficiente del recurso agua.

III. PRINCIPIOS CONCEPTUALES

En términos generales, la **generación de electricidad** consiste en la transformación de alguna forma de energía, sea esta hidráulica, mecánica, química, térmica, radiante, mareomotriz, etc., en energía eléctrica.

Dependiendo de la **fuerza primaria de energía** utilizada, las centrales generadoras se clasifican en: termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleares, eólicas, solares termoeléctricas, solares fotovoltaicas y mareomotrices. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen un **elemento en común: el generador**, constituido por un alternador, movido mediante una **turbina** que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

3.1. Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es aquella en la que la energía potencial del agua almacenada en un embalse se transforma en la energía cinética necesaria para mover el rotor de un generador y posteriormente transformarse en energía eléctrica.

Las grandes centrales hidroeléctricas se construyen en los cauces de los ríos, creando un embalse para retener el agua. Para ello se construye un muro grueso de piedra, hormigón u otros materiales, apoyado generalmente en alguna montaña. La masa de agua embalsada se conduce a través de una tubería hacia los álabes de una turbina que suele estar a pie de la presa, la cual está conectada al generador. Así, el agua transforma su energía potencial en energía cinética, que hace mover los álabes de la turbina.

Una central eléctrica no almacena energía, sino que la producción sigue a la demanda solicitada por los usuarios. Como esta demanda es variable a lo largo del día, y con la época del año, las centrales eléctricas pueden funcionar con una producción variable.

Existen dos formas fundamentales para explotar esta energía hidráulica:

1. Desvío del cauce de agua

El principio fundamental de esta forma de aprovechamiento hidráulico de los ríos se basa en el hecho de que la velocidad del flujo de estos es básicamente constante a lo largo de su cauce, el cual siempre es en pendiente. Esta energía potencial puede ser aprovechada si se hace pasar al agua a través de una turbina.

2. Retención de la corriente de agua mediante una presa

Consiste en la construcción de una **presa** que retenga el cauce de agua para elevar el nivel de la quebrada en su parte anterior a la presa, el cual podría eventualmente convertirse en un pequeño **embalse**. La presa establece una corriente no uniforme y modifica la forma de la superficie libre de la quebrada antes y después de que toman forma de las llamadas curvas de remanso.



Figura 4. Para asegurar el abastecimiento de agua sobre la tubería de presión se acostumbra erigir una pequeña presa de mampostería.

3.1.1. Tipos de centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de distintas maneras según sea sus características particulares al momento de su diseño, contemplado desde su forma de utilización del recurso hídrico hasta su dimensión de la capacidad instalada:

a. De acuerdo a su régimen de flujo

Estas pueden ser:

1. Centrales a filo de agua

También denominadas centrales de agua fluyente o de pasada, utilizan parte del caudal de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua y no disponen de embalse. Utilizan el agua disponible en el múltiple de entrada de acuerdo a su capacidad de diseño. Por sus características son la mejor opción cuando se trata de proyectos de baja inversión, además el impacto ambiental mediante la implementación de este tipo de centrales es mínimo.

2. Centrales de embalse

Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. Utilizan un embalse para acumular agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Requieren una inversión mayor y reservas suficientes.

3. Centrales de acumulación por bombeo

Este método utiliza la energía potencial del agua bombeándola desde un reservorio de menor elevación hacia un embalse más elevado. Se usa la electricidad generada fuera de las horas de mayor demanda –más barata- para activar el bombeo y reutilizar el agua para generar electricidad mediante turbinas (usualmente tipo Francis) en los periodos de mayor demanda.

El sistema requiere de un diferencial de elevación entre dos cuerpos de agua naturales o grandes reservorios artificiales y solamente se aplica en grandes proyectos.

Tomando en cuenta las pérdidas por evaporación en la superficie de los reservorios y otras pérdidas en el proceso, únicamente se recupera entre el 70-85% de la energía utilizada para bombear el agua hacia arriba; por esta razón la técnica tiene la peor relación beneficio/costo para generar grandes cantidades de energía eléctrica y funciona únicamente en aquellos países que tienen grandes variaciones en el precio kWh durante ciertos periodos de tiempo en la noche y fines de semana.

b. De acuerdo a su potencia de generación

Actualmente las centrales hidroeléctricas varían en tamaño desde las muy pequeñas que se utilizan para iluminar unas cuantas casas en aldeas remotas hasta los gigantescos embalses que generan electricidad para millones de personas. Estas hidrocentrales pueden producir electricidad de manera confiable y barata durante muchos años, su alta eficiencia de operación aunada al alto costo de los combustibles fósiles hacen de las mismas una fuente de electricidad importante en el mundo entero.

Aunque no existe consenso entre países industrializados el tamaño de las hidrocentrales, existen algunos límites que constituyen un criterio de clasificación:

- **Grandes.** Todas las plantas con capacidad mayor a 100 MW.
- **Medianas.** Aquellas plantas entre 15 y 100 MW de capacidad.
- **Pequeñas.** Todas las plantas dentro del rango de 1 a 15 MW.
- **Mini.** Plantas que producen más 100 kW y menos 1 MW.
- **Micro.** Todas las plantas con capacidad entre 5 a 100 kW. Amplio rango de adaptación en aldeas remotas de Honduras
- **Pico.** Capacidad menor a 5 kW.

3.1.2. Impactos ambientales potenciales

Los impactos ambientales potenciales de los proyectos hidroeléctricos son siempre significativos. Sin embargo, existen muchos factores que influyen en la necesidad de aplicar medidas de prevención; principalmente: la construcción y operación de la represa y el embalse constituyen la fuente principal de impactos del proyecto hidroeléctrico. Los proyectos de las represas de gran alcance pueden causar cambios ambientales irreversibles, en un área geográfica muy extensa; por eso, tienen el potencial de causar impactos importantes al medio ambiente.

Hay **impactos ambientales directos** asociados con la construcción de la represa (p.ej., el polvo, la erosión, problemas con el material pesado y de los desechos), pero los impactos más importantes son el resultado del **embalse**, la **inundación** de la tierra para formar el embalse, y la alteración del caudal de agua, aguas abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área circundante.

Además de los efectos directos e indirectos de la construcción de la represa sobre el medio ambiente, se deberán considerar los efectos del medio ambiente sobre la represa. Los principales factores ambientales que afectan el funcionamiento y la vida de la represa son aquellos que se relacionan con el uso de la tierra, el agua y los otros recursos en las áreas de captación aguas arriba del reservorio (p.ej., la agricultura, la colonización, el desmonte del bosque) que pueden causar una mayor acumulación de sedimentación, y cambios en la cantidad y calidad del agua del reservorio y del río.

3.2. Concepto de Micro Central Hidroeléctrica

Una Micro Central Hidroeléctrica (MHC) es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto de agua, desde un punto de captación (presa o bocatoma) situada a mayor altura que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde las turbinas hidráulicas transmiten la energía en forma de rotación de un eje a un generador convirtiéndola en energía eléctrica.

La potencia mecánica de una hidroturbina se obtiene mediante la energía cinética del agua en movimiento a través de una tubería apropiada; la capacidad en el eje de una hidroturbina está determinada por el caudal disponible para impulsar el rodete de la misma y por la diferencia de elevación o caída vertical entre la superficie del agua en la bocatoma y el nivel de las toberas o boquillas de descarga en la turbina aguas abajo del punto de captación o bocatoma en la quebrada.

En un sistema a filo de agua -típico en las microturbinas- se deriva de la quebrada únicamente una fracción de la corriente que fluye por la misma. De esta manera, además de reducir los costos de las obras civiles del proyecto también se minimiza el impacto ambiental sobre la vida acuática presente en el sitio.

La potencia hidráulica dentro de esta modalidad se utilizó desde hace mucho tiempo. Los griegos ya utilizaban las ruedas hidráulicas para moler trigo hace más de 2,000 años y antes de la disponibilidad comercial de la potencia hidroeléctrica, la fuerza de las caídas de agua se utilizó para irrigación y operación de maquinaria textil y en aserraderos a principios del Siglo XX en Europa y Norte América. La primera microhidrocentral fue construida en 1882 en Appleton, Wisconsin, Estados Unidos, con una capacidad instalada de 12.5 kW para iluminar una pequeña fábrica de papel y una casa.

Como los proyectos microhidro generalmente no requieren de un embalse o reservorio, cada vez se utilizan más como una fuente alternativa para generar electricidad, especialmente en lugares remotos y donde no es viable llevar la red eléctrica nacional. Los beneficios ambientales de las microcentrales son importantes porque:

1. La generación hidroeléctrica proviene de un recurso energético renovable, ya que el agua solamente es prestada por la microcuenca y como el agua no tiene contacto con grasas y aceites, no hay contaminación.
2. En las micro centrales hidroeléctricas no intervienen combustibles de ningún tipo y no ocurren emisiones contaminantes como las que liberan los generadores accionados por compuestos derivados del petróleo.

Principales ventajas:

- Se basa en un recurso renovable y gratuito.
- No es consuntiva, se toma el agua en un punto y regresa al mismo punto.
- Completamente segura para personas y animales ya que no es contaminante.
- Favorece el ambiente y la conservación de los recursos naturales.
- Por su tamaño, la micro generación permite que los usuarios se involucren directamente en todas las actividades, desde el inicio y desarrollo, operación, mantenimiento y administración del proyecto.
- Como componente de un esquema de desarrollo hidráulico; las micro turbinas se pueden integrar a proyectos de irrigación o de agua potable para maximizar el beneficio compartiendo el costo entre varios sectores.

3.3. Microhidroturbinas

Independientemente del tipo de turbina, sea de impulso o de reacción, el concepto microhidro se refiere a todas aquellas unidades menores a 100 kW.

3.3.1. Clasificación de las microhidroturbinas

Las microhidroturbinas se pueden clasificar:

- a. Por su funcionamiento:
 - De impulso: Pelton, Flujo transversal (Banki-Mitchell), Turgo.
 - De reacción: Francis, Propelas (Variante Kaplan).
- b. Por su eje
 - Vertical
 - Horizontal
- c. Por la velocidad específica del rodete.

En este documento se tratará únicamente de las turbinas Pelton y de flujo transversal (Banki-Mitchell) porque son las turbinas más adecuadas para cubrir un amplio rango de condiciones de caída y caudal típicos en Centro América. También constituyen los prototipos más conocidos en aplicaciones microhidro y son más fáciles de construir localmente.

a. Turbina Pelton

La turbina Pelton constituye la representación de las turbinas de impulso más conocida mundialmente y su nombre se debe a Lester Pelton quien, en 1880 patentó la rueda Pelton en California, Estados Unidos.

El tazón original de la Pelton tenía la arista central, muy conocida hoy en día, la cual divide la superficie interna del tazón en dos lóbulos simétricos para producir la inversión de los chorros de agua en forma de U a casi 180° y mejorar la eficiencia del sistema, pero no tenía la muesca final que facilita el paso del chorro de agua de un tazón a otro.

El tipo moderno de tazón Pelton fue inventado por Abna Doble en 1899, quien diseñó los tazones elípticos y la muesca característica en el extremo de cada tazón.

Los refinamientos subsiguientes en cuanto a forma y materiales utilizados ocurrieron a partir de 1960 cuando se empezaron a fabricar rodetes de eje vertical para utilizar más de dos chorros y alcanzar una mayor rotación (RPM) en el eje para facilitar el acople a generadores de electricidad.

En la medida que han ocurrido mejoras de diseño en diferentes aspectos también se ha logrado incrementar la potencia generada, aún en las turbinas más pequeñas.

Básicamente la turbina Pelton está constituida por las partes siguientes:

- Rodete
- Múltiple de entrada
- Boquillas
- Carcasa

El agua que circula por la tubería de presión sale por las boquillas en forma de un chorro reducido pero a gran velocidad que impacta sobre la vena de desviación o arista de los tazones y se divide en dos partes iguales.

El impulso sobre el tazón ocurre cuando éste colecta el agua del chorro e invierte su dirección en forma de U recibiendo toda la fuerza cinética que es posible de acuerdo a la presión de trabajo en el múltiple de boquillas. A mayor caída vertical entre la bocatoma y casa de máquinas, mayor presión en el múltiple y mayor velocidad del chorro. Por cada metro de caída vertical se produce por la fuerza gravitacional un incremento de presión en las boquillas de 1.42 psi (libras por pulgada cuadrada).

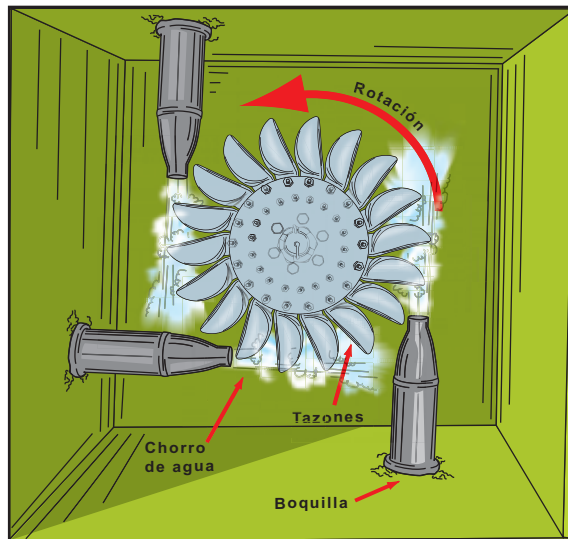


Figura 5. Vista interior de la carcasa de una microhidroturbina Pelton de tres inyectores.

Dependiendo del caudal disponible y de la caída vertical del sitio, las turbinas Pelton se fabrican con eje horizontal de uno o dos chorros o con eje vertical de tres o cuatro chorros. Con más chorros se incrementa la velocidad de rotación del eje y las revoluciones del generador usualmente se sincronizan a la rotación de la turbina mediante bandas y poleas apropiadas. La turbina debe ser instalada sobre el nivel del canal de descarga y, aunque esto significa pérdida de caída vertical, evita que el agua descargada interfiera con la rotación libre del rodete.

Para dimensionar una Pelton apropiadamente, lo primero que se debe determinar es el diámetro del chorro, después se deriva el tamaño de los tazones y de los demás componentes tales como el rodete, múltiple de entrada, boquillas y la turbina en general.

La eficiencia de las turbinas Pelton fabricadas localmente normalmente es inferior a la de las grandes hidrocentrales. Entre los factores que influyen la eficiencia de las turbinas están: disposición de los tazones en el rodete, tamaño, forma y número de tazones, disposición de las boquillas y diámetro del chorro, pérdidas por fricción excesivas en el múltiple de entrada relación del diámetro de poleas en turbina y generador, tensión y alineamiento de las bandas, etc.

Por su versatilidad la turbina Pelton, es la más conocida y utilizada en proyectos de pequeñas hidrocentrales en lugares remotos.

b. Turbina de flujo transversal

El desarrollo de las turbinas de flujo transversal se atribuye a Donat Banki de Hungría (1910) y Anthony Mitchell de Australia (1903) quienes obtuvieron patentes independientes.

Esta turbina consiste en una serie de remos o paletas curvas fijadas a dos discos laterales que forman un cilindro de longitud igual al diámetro de la tubería de presión y se asume que la boquilla rectangular tiene la misma longitud que el rodete. El chorro de agua entra por un lado del cilindro (rodete) y sale por el lado opuesto dándole un segundo impulso al rodete, pero con menor energía que en el primero. Aproximadamente 79% de la energía cinética del chorro de agua en el impulso de entrada y 21% antes de salir de las paletas del lado opuesto.

Se utilizan en sitios con caída vertical baja e intermedia pero requieren caudales considerables. La eficiencia general de esta turbina varía con el caudal disponible y se puede alargar el rodete con un mismo diámetro en cuyo caso aumentará el caudal de diseño y la potencia sin alterar la velocidad de la turbina.

La turbina de flujo transversal se clasifica entre las turbinas de impulso pues toda la presión del agua en la boquilla es convertida a velocidad del rodete.

La ventaja principal de esta turbina es que debido a la simetría de los remos o paletas, se puede ampliar la longitud del rodete a conveniencia, sin cambiar las características hidráulicas de la turbina. Por ejemplo, al duplicar el largo del rodete se duplica la potencia en el

eje, sin alterar la rotación del mismo, puesto que el diámetro se mantiene igual. Las limitantes son de tipo estructural porque alargando el rodete las paletas pueden flexionar y deformarse por la fatiga del metal, esto se puede evitar colocando más discos intermedios.

Por otra parte, debido a que el tamaño (longitud) del rodete no está limitado por el diámetro del mismo -como en las turbinas Pelton- las caídas verticales pequeñas no limitan su potencia de salida significativamente. Estas turbinas pueden operar con caídas bajas y generar una potencia considerable a RPM razonables. Sin embargo, para funcionar apropiadamente requieren de un caudal mucho mayor que el utilizado en las turbinas Pelton. Se utilizan en una amplia gama de caudales -entre 0.03 a 5 m³/s- dentro de un rango de caídas entre 2 y 25 m generalmente.

El agua entra en la turbina a través de la compuerta reguladora y después de impulsar la primera etapa de paletas del rodete pasa libre en medio del rodete y cambia de sentido volviendo a impulsar una segunda etapa antes de salir del rodete y caer por la gravedad al canal de descarga.

Las turbinas de flujo transversal tienen un rendimiento máximo inferior al 85% pero éste se mantiene constante cuando opera con una disminución de caudal del 16% del nominal y tiene un mínimo técnico en el orden del 10% del caudal de diseño. La determinación de la potencia mecánica en las turbinas Banki es más complicada que para las turbinas Pelton porque es necesario conocer de antemano el ancho de admisión (boquilla) y la velocidad específica del rodete y cada modelo tiene sus propios valores. Pero la fórmula rápida para obtener un estimado de potencia es: $P \text{ (kW)} = 7 Q H$ asumiendo una eficiencia general del sistema de 70%.

Q = caudal disponible (m³/s)

H = caída vertical (m)

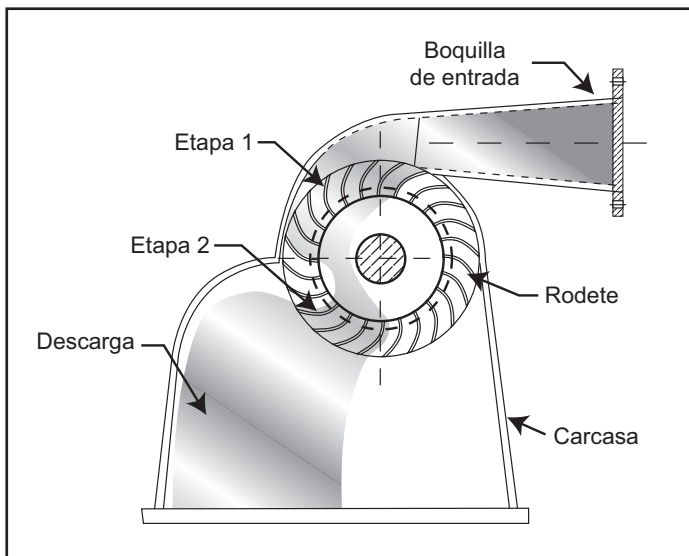


Figura 6. Diagrama de una turbina Banki-Mitchell de flujo transversal con boquilla horizontal.

3.3.2. Criterios de selección de microhidroturbinas

La selección de las microhidroturbinas (MHT) depende de los factores siguientes:

1. Características del sitio (a filo de agua, embalse reducido).
2. Caída vertical requerida para su funcionamiento.
3. Caudal mínimo disponible en el sitio.
4. Velocidad del rodete *versus* RPM requerido por el generador.
5. Posibilidades de operar la MHT con caudales reducidos.

En términos generales, los distintos tipos de hidroturbinas a utilizar estarán sujetos a las condiciones de campo predominantes en los sitios propuestos para su funcionamiento. En el Cuadro 1 se presentan los parámetros de aplicación de distintos tipos de hidroturbinas en relación a la caída vertical.

Cuadro 1. Límite de aplicación de las hidroturbinas.

Tipo de turbina	Rango de caída vertical (m)
Kaplan y Propelas	2-40
Banki/Mitchell	2-25
Francis	10-350
Turgo	50-250
Pelton	50-1300

3.4. Componentes de una Micro Central Hidroeléctrica

Para el establecimiento de una MHC, es importante considerar los siguientes componentes:

3.4.1. Obras civiles

Existen varias posibilidades para el diseño general de un proyecto microhidro exitoso. Sin embargo, en esta guía se tratará únicamente el esquema de una tubería de presión de mayor longitud y caída vertical o salto de agua mayor a 50 m cuyos componentes principales son:

- a. Presa pequeña y bocatoma.
- b. Tubería de presión y anclajes.
- c. Casa de máquinas y canal de descarga.

Pero existen otros factores que se deben tomar en cuenta antes de diseñar el conjunto de obras civiles. Por ejemplo: el agua arrastra pequeñas partículas de arena que son abrasivas y causan rápido desgaste en los tazones si no se retienen antes de entrar a la tubería de presión. Los sedimentos también pueden bloquear la entrada de la tubería si la bocatoma no se instala apropiadamente.

El caudal de las quebradas es variable durante el año pero las obras civiles y el equipo electromecánico se diseñan para manejar un caudal estable. Por lo mismo, la bocatoma debe derivar el caudal estimado en el diseño tanto en época de lluvias como en verano y la función principal de la bocatoma es asegurar que el agua llegue a la tubería con la quebrada a bajo caudal.

Durante la estación lluviosa las estructuras de derivación de caudal (presa y bocatoma) requieren de mucha atención, pues durante las avenidas la corriente arrastra materiales pesados que, acumulados en la base de la bocatoma pueden causar apilamientos dañinos a la presa, bocatoma y vertedores.

El efecto de la turbulencia es otro factor que requiere mucha atención en las corrientes cercanas a la presa pues las alteraciones súbitas en la dirección de la corriente originan turbulencia y bolsas de aire que inducen a pérdidas de energía y agitan los sedimentos facilitando su entrada en la tubería.

Cuando el agua que circula por la tubería se detiene bruscamente, debido a un bloqueo cerca de la turbina, origina un golpe de ariete que resulta en una súbita elevación de la presión interna que puede romper fácilmente la tubería. Además, estas sacudidas hacen que la tubería se desestabilice y se suelte de los anclajes si no está firmemente sujeta.

a. Presa pequeña y bocatoma

La presa es la estructura que se instala frente a la corriente de una quebrada para elevar el nivel de agua sobre la entrada de la tubería de manera permanente para garantizar el agua requerida por la turbina de acuerdo al caudal de diseño.

En aquellos proyectos a filo de agua si se excluye la pequeña presa puede resultar en una merma del potencial de generación durante el verano y solamente en los casos que existe una caída y caudal mayores que los requeridos se pueden obviar las construcciones de este componente.

La bocatoma consiste en un espacio usualmente a un lado de la presa para acumular agua libre de piedras y sedimentos mayores sobre la entrada de la tubería. Siempre se instala un pascón metálico bien construido y de superficie 3-4 veces mayor que el área de la tubería que se ha empotrado en la pared de la presa. El pascón debe retener todos aquellos materiales mayores a $\frac{1}{8}$ del diámetro de las boquillas y toda la hojarasca, ramas y piedras que pudiesen bloquear la tubería y reducir la presión de trabajo o causar fluctuaciones en la descarga, que pueden ocasionar averías en la turbina.

Para seleccionar el lugar donde establecer la presa se deben considerar las condiciones siguientes:

- Elegir un lugar con base estable (rocas) que pueda resistir las probables avenidas durante la época lluviosa.
- Debe haber una corriente constante y con poca pendiente.

- Colocar la pequeña presa o bocatoma en los tramos rectos.
- Las curvas acumulan sedimento hacia adentro.
- Las curvas están sujetas a erosión y daños hacia fuera durante las avenidas.

Todas las presas deben tener un vertedor colocado al lado opuesto a la bocatoma que consiste en una abertura o canal más bajo que la corona de la presa. Este vertedor dirige la corriente a mayor velocidad y permite una mayor acumulación de los materiales arrastrados en el fondo. Es en este punto que se deben dejar las compuertas desarenadoras para facilitar la limpieza del área adyacente a la presa.

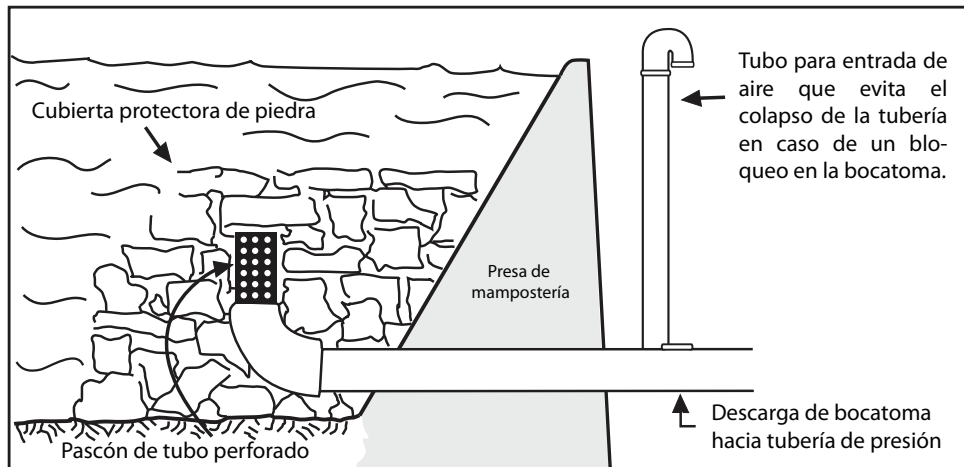


Figura 7. Diagrama de una bocatoma para abastecer una microturbina.

b. Tubería de presión y anclajes

En los proyectos microhidro, la tubería es el conducto que lleva el agua a presión desde el sitio de boca toma hasta la turbina, excepto en los tipos de caída vertical mínima como en las turbinas de propelas. Las tuberías de PVC utilizadas en estos sistemas generalmente quedan bajo la superficie del terreno para mayor anclaje y protección contra daños por golpes, pisoteo de animales, debilitamiento por el efecto del calor y los rayos ultravioletas derivados de la radiación solar.

A menudo la tubería de presión es el componente más caro en el presupuesto de un microproyecto; por lo tanto, es muy importante optimizar el diseño para reducir el costo. Para ello se debe seleccionar adecuadamente el tipo de tubería y el diámetro efectivo de la misma, a fin de decidir entre aceptar mayores pérdidas internas (H_f) y generar menos potencia o ampliar el diámetro de tubería a un costo mayor para sostener la potencia de diseño sin las restricciones originadas por las pérdidas (H_f).

Las pérdidas por fricción en los tubos dependen principalmente de la presión de operación del agua que circula, por la rugosidad interna en las paredes de los tubos, por el diámetro y longitud de la tubería y por la velocidad de la columna de agua dentro de la tubería de conducción.

Al aumentar el diámetro se reducen las pérdidas (H_f) pero se incrementan los costos de adquisición, transporte y colocación. A fin de decidir la tubería más conveniente es necesario considerar varias opciones entre los materiales disponibles y seleccionar en base a pérdidas H_f no mayores al 15% de la caída vertical total (H total). También se debe buscar la ruta de menor longitud y máxima caída vertical total, evitando en lo posible las curvas horizontales y las ondulaciones verticales en la tubería, ya que estas deformaciones incrementan las pérdidas H_f .

La presión del agua en la tubería depende de la caída total; a mayor H total corresponde una presión mayor. Esta presión de operación en la tubería es un aspecto crítico porque influye en el espesor de la pared necesario para resistir los esfuerzos correspondientes sin riesgos de roturas. En Honduras se acostumbra medir la presión en las tuberías en unidades PSI o sea en libras por pulgada cuadrada; una columna de agua dentro de una tubería a 10.0 m de caída vertical ejerce una presión de 14.29 PSI. En el país la tubería de presión comúnmente utilizada es PVC-SDR 26; el precio de la tubería aumenta en proporción al espesor de pared, a mayor espesor es más alto su valor.

Frecuentemente, las tuberías de presión requieren de refuerzo en forma de espigones o bloques de concreto empotrados en el suelo para resistir los esfuerzos laterales y longitudinales que ocurren a lo largo de su recorrido, especialmente en aquellos tramos sobre la superficie ya que la temperatura provoca un movimiento longitudinal sobre la misma (alargamiento-contracción), pero los esfuerzos mayores se concentran en las curvas tanto en el plano horizontal como en vertical o en ambos.

La fuerza causada por la presión hidrostática- la presión del agua que tiende a causar separación de las uniones y deslizamiento imperceptible de la tubería sobre los espigones de concreto- a menudo es la fuerza de mayor magnitud. Pero la expansión térmica de los tubos, el peso de la porción de tubería sobre el espigón y su empuje sobre las curvas también transmiten esfuerzos que afectan la tubería cuando no está correctamente anclada a intervalos apropiados.

Para cortar o dar paso al flujo de agua que mueve la turbina se acostumbra colocar una válvula de compuerta en el tramo de tubería adyacente a la turbina; pero no se debería de utilizar como válvula de regulación, ya que esto provocaría turbulencias que afectan el rendimiento de la turbina.



Figura 8. Para obtener una caída vertical apropiada, la tubería de presión generalmente se instala con dificultad siguiendo pendientes muy pronunciadas.

Para evitar el colapso de la tubería por un vacío ocasionado si hubiese un bloqueo severo en la bocatoma, se debe instalar un tubo vertical de entrada de aire, colocándolo en el primer tubo de salida de la presa, justamente al lado de la pared exterior de la misma. Como referencia, este tubo deberá tener un diámetro tres veces menor con relación al diámetro de la tubería madre.

c. Casa de máquinas

La casa de máquinas es una pequeña edificación que protege la turbina, el generador y demás equipo electromecánico. Aunque la casa sea una estructura simple, debe tener una cimentación sólida.

Por razones de seguridad y de resistencia estructural, el piso de la casa de máquinas debe quedar sobre el nivel del agua todo el año y se debe tomar como referencia el nivel más alto alcanzado por las quebradas durante la época de inundaciones, observando las marcas dejadas en los taludes. También se debe consultar a las personas que han vivido durante mucho tiempo en el sector. Por otra parte, la casa de máquinas debe quedar situada de manera que facilite la descarga del agua utilizada en la turbina nuevamente a la quebrada y tan cerca de la aldea como sea posible para un mejor acceso y reducción del costo de conducción de electricidad.

El canal de descarga que emerge de la casa de máquinas debe quedar protegido de la corriente principal y siempre se orienta con pendiente en el sentido aguas abajo de la quebrada para evitar acumulación de balseras durante las avenidas mayores. Para evitar el impacto destructivo de las aguas durante las crecidas, al final del canal de descarga debe quedar en un tramo recto en el cauce natural del río o quebrada.

Durante la selección del sitio para instalar la casa de máquinas y el canal de descarga siempre se deben tener en cuenta los aspectos siguientes:



Figura 9. La casa de máquinas, aunque es una estructura simple, siempre debe quedar bien cimentada sobre terreno firme.

- Deben planificarse en base a una condición de las probables crecidas en el cauce de las quebradas.
- La naturaleza y composición del cauce natural determina el grado de erosión y cambios de curso en el futuro.
- Los promontorios rocosos o peñascos adyacentes pueden proteger las obras civiles del proyecto.

3.4.2. Otros componentes

Además de las obras civiles que corresponden a un sistema de micro central hidroeléctrica, descritas anteriormente, también se deben considerar otros componentes importantes a la hora de planificar un proyecto microhidro, ya que son estos los encargados de generar y distribuir la energía hasta su uso final:

a. Equipo de generación

El equipo de generación es un componente importante en la generación de energía eléctrica. Forma parte de lo que se denomina casa de máquinas y lo constituyen:

1. Generador

El generador es la máquina que transforma toda la potencia mecánica provista por la turbina en electricidad. Entre las partes, los componentes más importantes son:

- El rotor que a su vez está compuesto por otros elementos como los campos electromagnéticos, ejes y aisladores. Es la parte giratoria e impulsada directamente por las bandas de las poleas de la turbina. La velocidad de operación nominal generalmente es de 1,800 RPM en generadores monofasicos de baja potencia.
- El estator. Es la parte del generador que permanece fija sujeta a la carcasa.
- El anillo colector que recoge toda la energía generada en el interior del generador y la transfiere a los carbones.
- Diodos rectificadores funcionan por el roce entre los carbones y el colector y transfieren la energía eléctrica generada al sistema de distribución.

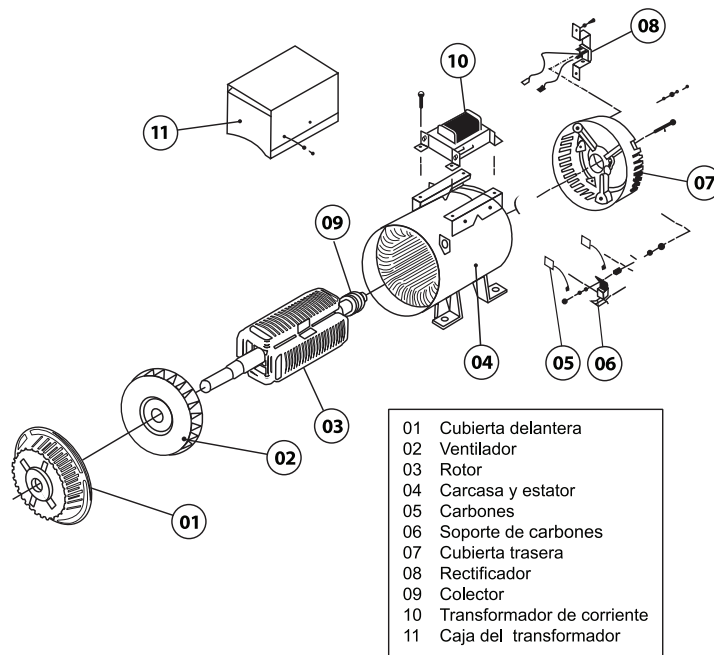


Figura 10. Diagrama de un generador.

El generador debe mantenerse protegido de descargas eléctricas por medio de una conexión a tierra correctamente instalada.

Tipos de generadores:

- Sincrónicos corriente alterna.
- De inducción corriente alterna.
- Alternadores de corriente directa.

2. Reguladores de velocidad o gobernadores

Se conocen como gobernadores de velocidad y frecuencia y pueden ser:

- Mecánicos: muy costosos para sistemas microhidro.
- Electrónicos: siempre deben tener carga útil conectada al gobernador que puede ser mediante calentadores de aire o calentadores de agua.

b. Red de distribución eléctrica

Este componente corresponde a toda la infraestructura en cuanto a equipo y materiales instalados fuera de la casa de máquinas, para la distribución de la electricidad generada. Incluye entre otros: tendido eléctrico primario, postes, accesorios y equipo de protección e instalaciones eléctricas domiciliarias.

La energía generada debe transmitirse mediante una red de baja tensión hasta el centro de consumo. Dependiendo de la distancia entre la casa de máquinas y el centro de consumo será necesario tender redes de transmisión al voltaje apropiado y reducir pérdidas y caídas de voltaje. Cuando es necesario se utilizan transformadores de capacidad apropiada al sistema para contrarrestar las caídas de voltaje inevitables en los tramos mayores a 1 km de línea principal.

Este concepto puede llegar a ser uno de los componentes más caros en el establecimiento de proyectos microhidro, dependiendo de la dispersión de las casas en la aldea y del tipo y cantidad de postes y accesorios que se van a instalar. En aldeas con dispersión de casas de un radio mayor a un kilómetro de la casa de máquinas se encarece el proyecto.

Al realizar la instalación de la red domiciliaria se deben considerar los siguientes aspectos:

- Elaborar un croquis a escala de la ubicación de las viviendas participantes en el proyecto.



Figura 11. La red de distribución debe ser instalada por personal técnico capacitado.

- El diseño del croquis deberá tomar en cuenta las principales calles o caminos dentro de la comunidad, procurando conservar los tramos rectos y evitando obstáculos aéreos (árboles) que puedan dificultar la instalación de la línea de distribución.
- El cable a utilizar en la línea primaria de distribución eléctrica debe ser de calidad y en base a las especificaciones indicadas para reducir las caídas de voltaje.
- Los postes y las crucetas que servirán en la línea de distribución se seleccionan de acuerdo al presupuesto disponible (concreto, madera curada, madera rolliza). Es preferible una inversión inicial mayor para obtener una larga vida útil del sistema.
- Se recomienda instalar los dispositivos de protección necesarios, tales como retenidas en las curvas y suficientes bajadas de polo a tierra.

c. Instalaciones eléctricas domiciliarias

Corresponde a aquellas instalaciones eléctricas que se derivan de la red de distribución eléctrica hacia el interior de las viviendas o infraestructura en donde se hará uso de la energía generada. Este componente incluye todo lo correspondiente al cable eléctrico de interiores, accesorios de uso domiciliario (rosetas, toma corrientes, interruptores, etc.) y los dispositivos de protección como panel de control de sobre carga (breakers apropiados) y limitadores de consumo.



Figura 12. Una adecuada instalación eléctrica en la vivienda garantiza el funcionamiento eficiente y seguro del servicio eléctrico.

Estas instalaciones deben efectuarse con el apoyo de personal calificado, de manera tal que se ejecuten bajo las especificaciones y criterios técnicos mínimos, a fin de evitar futuros desperfectos.

Estas instalaciones deben efectuarse con el apoyo de personal calificado, de manera tal que se ejecuten bajo las especificaciones y criterios técnicos mínimos, a fin de evitar futuros desperfectos.

3.4.3. Operación y mantenimiento del sistema

El personal responsable de la operación y mantenimiento de la microcentral desempeña un papel importante para asegurar el funcionamiento adecuado y prolongar la vida útil del sistema. Aunque el proyecto haya sido bien diseñado y el equipo instalado sea de buena calidad, este puede no operar confiablemente sino es correctamente manejado. Por lo tanto los operadores seleccionados para realizar estas tareas deben hacerlo con buena actitud, aptitud, integridad y compromiso con su comunidad.

Se debe diseñar un plan de capacitación a largo plazo que sea efectivo y consistente, en el que participen los encargados de operar el sistema en la comunidad.

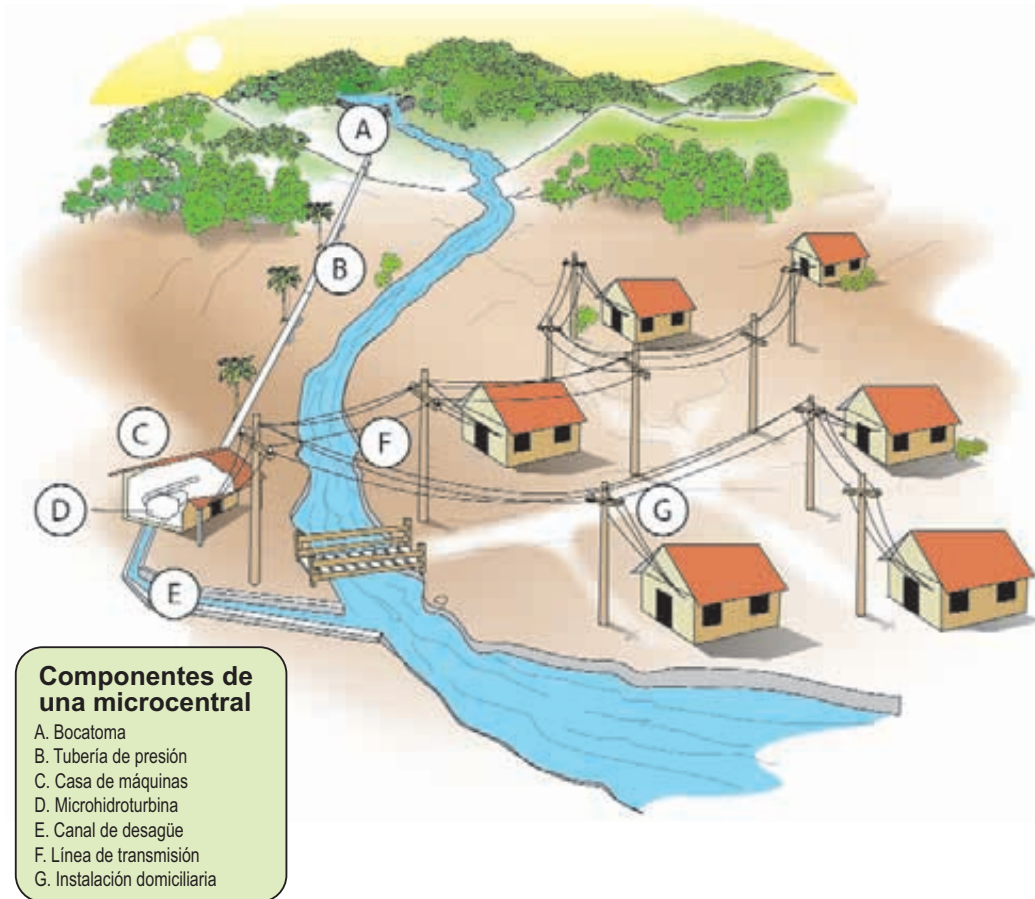


Figura 13. Esquema de un proyecto de generación de energía mediante una microcentral.

IV. PASOS PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA MHC

Para el establecimiento de una MHC se deben considerar una serie de pasos que permitan lograr un proyecto exitoso y con una buena relación costo/beneficio.

4.1. Selección de la microcuenca

La comunidad y el personal técnico deben identificar la microcuenca que reúna las condiciones apropiadas para su aprovechamiento con fines hidroeléctricos. Esta área debe ser una zona no intervenida, con cobertura boscosa apropiada que garantice la protección de la fuente de agua y sin conflictos de tenencia de la tierra.

Es importante considerar que el recurso hídrico es aprovechable en un punto del sitio de su

emplazamiento, por lo que debe estar en el área donde se localiza la comunidad que será beneficiada con el proyecto. Si no se encuentran restricciones de importancia que imposibiliten la utilización de dicho emplazamiento (situaciones geológicas, ambientales, afectación de actividades socio económicas, etc.) se procede a realizar mediciones para la evaluación del sitio.

4.2. Evaluación del sitio

La evaluación del sitio permite valorar el potencial del recurso hídrico para satisfacer los requerimientos eléctricos del sistema a instalar en una comunidad. Esta evaluación consiste en recabar la información concerniente a caudal y salto de agua.

Con los datos de caudal y desnivel localizado en cada emplazamiento seleccionado, puede hacerse una primera estimación de la potencia continua disponible en los mismos. Sobre la base de este análisis se realiza una preselección de los emplazamientos que resultan de mayor interés para resolver el abastecimiento de la demanda localizada en el área.

Los principales parámetros tomados en cuenta para la evaluación del sitio con potencial para la instalación y funcionamiento de una MHC son: caudal y desnivel.

4.2.1. Caudal

El caudal se define como la cantidad de agua en movimiento por la corriente de la quebrada medida en galones por minuto (gal/min), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo (m^3/s).

La precisión en la medición de caudales deberá siempre considerarse como un factor relacionado directamente con la capacidad potencial del sistema a instalar, ya que este define el diseño del mismo bajo los siguientes conceptos:

- El caudal de diseño siempre debe ser un porcentaje inferior al caudal aforado.
- El caudal de diseño determina el diámetro de la tubería de presión.
- El caudal de diseño determina el diámetro de las boquillas

La precisión en la medición del caudal depende de la demanda de electricidad prevista según la encuesta de los beneficiarios (número de casas) y de la caída vertical disponible en el sitio; por ejemplo, si el caudal disponible es mayor que lo requerido para el proyecto y de antemano se sabe que es sostenible durante todo el año, no es necesario hacer una medición rigurosa. En todo caso, el mejor momento para efectuar los aforos es al final de la época seca cuando las quebradas mantienen su caudal más reducido.

Hay que tener en cuenta que no es aceptable desviar toda la corriente hacia la turbina pues en cada país se exige conservar un caudal ecológico reglamentario para preservar la vida acuática del sitio.

Existen varios métodos para medir la cantidad de agua que fluye por una quebrada, río o caudal. Para efectuar esta valoración de caudal a nivel local, cuando no se dispone de equipos de precisión, ni se considera pertinente su uso, es conveniente utilizar métodos reconocidos y ampliamente difundidos, entre los cuales podemos mencionar:

a. Método del recipiente

Este es un método sencillo y preciso para medir caudales pequeños en lugares donde hay una tubería de salida o una caída natural apropiada para acomodar el recipiente.

Consiste en medir el tiempo que gasta el agua en llenar un recipiente de volumen conocido, para lo cual, el caudal es fácilmente calculable con la siguiente ecuación: $Q= V/t$. En donde “V” es el volumen de agua del recipiente (en litros o galones) y “t” es la duración de tiempo cronometrado (en segundos) en que se tarda en llenar el recipiente.

Con una cubeta de 20 l de capacidad se pueden aforar descargas menores a 10 l/s y con un barril común de 55 gal (\pm 200 l de capacidad) se pueden medir caudales menores a 30 l/s. Si la descarga es mucho mayor que el recipiente, se forman turbulencias que afectan la precisión del método. En estos casos es mejor registrar el tiempo requerido para llenar el barril y después medir el volumen de agua captada con recipientes calibrados previamente y de menor tamaño para facilitar la extracción del agua contenida y asegurar una mayor precisión.

Procedimiento

Se toma un recipiente de volumen determinado y se realiza su llenado directamente en la fuente de agua, al mismo tiempo con un reloj se registra cuánto es la duración del llenado del mismo. Se deben de realizar repeticiones en el llenado del recipiente para determinar el valor promedio del tiempo. Por ejemplo:

Si se utilizó un recipiente de 50 l de capacidad, realizando tres repeticiones en el llenado del mismo y los tiempos medidos fueron de 2, 3 y 4 s, el caudal de la fuente se puede calcular de la siguiente manera:

- a. Promedio del tiempo de llenado (t promedio).

$$t \text{ promedio} = \frac{(2 + 3 + 4)}{3} = 3 \text{ s}$$

- b. Cálculo de caudal (Q).

Donde, **V** es igual al valor de la capacidad del recipiente (50 l) dividido por el tiempo de llenado (3 s), es decir que Q es igual a:

$$Q = V/t$$
$$Q = 50 \div 3 = 16.6 \text{ l/s}$$

b. Método del vertedor

Los vertedores son estructuras que se colocan opuestas a la corriente que se va a medir para crear una obstrucción parecida a una pequeña presa y hacer pasar toda el agua por la cresta de dimensiones preestablecidas, de manera que con una sola medición del espesor de la corriente sobre la cresta es posible estimar el caudal. La precisión del aforo depende del cuidado en instalar el vertedor y de hacer pasar toda el agua de la quebrada por el mismo.

Durante muchos años se hicieron numerosas investigaciones para calibrar las escotaduras de los vertedores comúnmente utilizados para medir el caudal especialmente en canales de irrigación y corrientes naturales de menor tamaño.

Los tipos de vertedores más conocidos son los rectangulares, trapezoidales o Cipoletti y los triangulares a 90° también conocidas como de escotadura en V. Estos últimos son los más comunes y pueden medir pequeños caudales con mayor precisión que un vertedor rectangular. Por otra parte, con estructuras rectangulares se pueden aforar corrientes de mayor caudal. El tipo Cipoletti también es utilizado porque sus paredes verticales en forma de trapecio inclinados hacia afuera en relación vertical a horizontal 4:1 simplifican la fórmula y elimina el factor de corrección requerido en las mediciones con vertedor rectangular (Figura 14).



Figura 14. Medición de caudal utilizando un vertedor triangular.

Los vertedores se colocan en posición transversal a la corriente que se va a medir y la cresta debe quedar por arriba del nivel natural del agua en la quebrada de manera que se forme una pequeña presa para que al salir del vertedor el agua caiga libremente como una cortina dejando un espacio de aire entre la cresta y el nivel de la corriente aguas abajo del vertedor (napa). La medición del espesor de la carga de agua sobre la cresta (h) se hace aguas arriba a una distancia mayor a $4h$ para reducir el error.

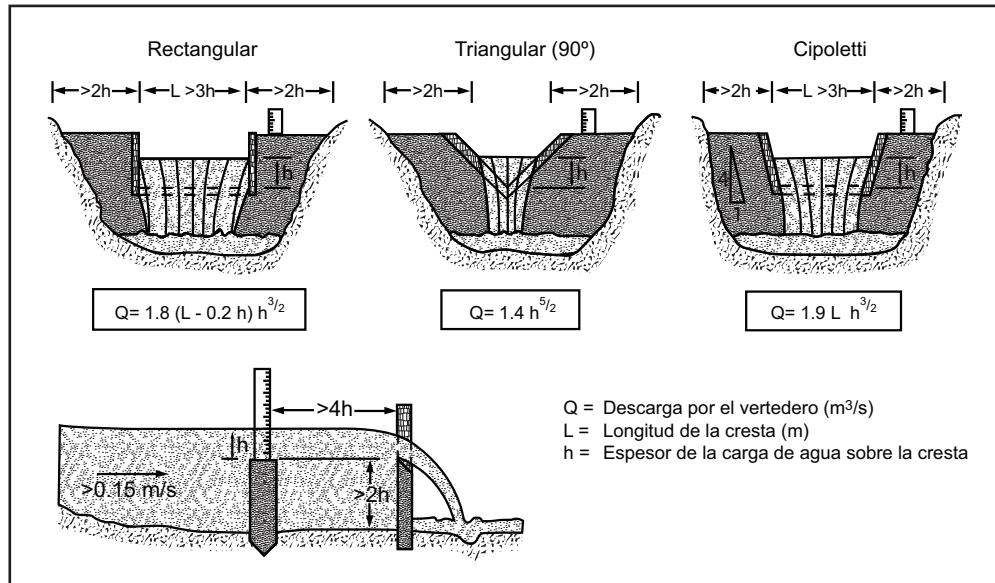


Figura 15. Criterios de diseño y ecuaciones características para tres tipos de vertedores.

En el sitio de medición no debe haber obstrucciones de la corriente como bancos de arena, peñascos o malezas en las cercanías al vertedor y la cresta debe quedar exactamente a nivel en los rectangulares y Cipoletti. El tipo triangular usualmente forma un ángulo de 90° juntando dos lados inclinados 45° de la vertical.

Las ecuaciones para medir los caudales en todos los tipos de vertedor de cresta angosta son válidas para h mayor a 5 cm y menores a 0.5 m. Los vertedores triangulares se pueden utilizar para medir caudales entre 5.0 y 100 l/s, lo que constituye un rango significativo para mediciones con un solo instrumento. Los vertedores rectangulares y Cipoletti se pueden usar para aforar corrientes mayores a 10 l/s hasta un incremento no mayor a 20 veces (200 l/s).

Para utilizar las ecuaciones sin necesidad de utilizar factores de corrección, los vertedores se deben instalar aguas debajo de una poza de suficiente longitud y profundidad para que la corriente fluya lentamente hacia el vertedor, preferiblemente a velocidad inferior a 0.15 m/s. Aunque los detalles específicos sobre la construcción de un determinado vertedor pueden variar, es importante asegurar los contornos del mismo y sellarlos con tiras de plástico aguas arriba del vertedor fijado con arena, grava o piedras para que no sean arrastradas por la corriente.

Ejemplo

Cálculo de caudal utilizando método de vertedor triangular.

$$Q = \text{m}^3/\text{s} \quad H = \text{m}$$

$$Q = 1.4 H^{5/2}$$

Se obtuvo una H de 0.40 m sobre la marca de referencia a 2.0 m aguas arriba del vertedor.

$$Q = 1.40 \times 0.40^{5/2}$$

$$= 1.40 \times 0.101$$

$$= 0.14 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (140 l/s)}$$

c. Método del flotador

Este es un método sencillo y práctico para medir caudales con suficiente exactitud. Se busca un tramo de corriente recto en una distancia de 10 m o más, se marcan con estacas los puntos AA y BB y se tiende una cuerda entre las estacas. Como la sección transversal de la quebrada será distinta entre AA y BB. Se mide 5 veces o más (siempre en números impares) la profundidad del agua a distancias iguales en el punto AA y se obtiene la profundidad promedio. La sección transversal en m² es la profundidad media multiplicado por el ancho de la corriente.

Se procede del mismo modo en el punto BB y se suman ambos valores para obtener la sección transversal media.

Después se encuentra la velocidad media de la corriente usando un flotador. Se deja que el flotador inicie unos metros arriba del punto AA y se comienza la lectura del cronómetro cuando el flotador pasa justamente al lado de las estacas aguas arriba hasta que llega al punto BB. Se repite la prueba por lo menos 3 veces y se obtiene el tiempo promedio. Si una de las medidas difiere mucho de la anterior se hace una medida adicional y se descarta la medida inapropiada.

Para calcular el caudal se multiplica \bar{A} (m²) por V (m/s) habiendo utilizado previamente los factores de corrección. El resultado será en m³/s, para estimar el caudal en l/s se multiplica el resultado por 1000.

Cuadro 2. Factores de corrección.

Condiciones del sitio	Factor	Precisión
Quebrada profunda y lenta	0.75	Razonable
Arroyo pequeño, de lecho parejo, liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo pequeño, de lecho rocoso	0.25	Muy mala

Este método puede ser más exacto si se aumenta la distancia entre los puntos AA y BB a 20 m o más, cuando las condiciones del sitio lo permiten.

Los materiales y equipos requeridos son los siguientes:

- Un objeto flotante, puede ser una bola de ping-pong, una botella plástica pequeña, una rama o trozo de madera que flote libremente en el agua.
- Un reloj o cronómetro.
- Una cinta medidora.
- Una regla o tabla de madera graduada.

Para su aplicación es necesario seguir los siguientes pasos:

a. Paso 1. Seleccionar el lugar adecuado

Se selecciona en el río o quebrada un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.

b. Paso 2. Medición de la velocidad

En el tramo seleccionado ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y medir la distancia, por ejemplo 12 m (cualquier medida, preferiblemente del orden de los 10 m).

Una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el reloj o cronómetro. Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B.

Se recomienda realizar un mínimo de tres mediciones y calcular el promedio; supongamos que el promedio del tiempo de recorrido fue de 8 s.

La velocidad de la corriente de agua de la quebrada se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad (V)} = \text{Distancia del tramo A-B (m)} \div \text{Tiempo de recorrido (s)}$$

$$\text{Para nuestro ejemplo, tendríamos: } V = 12 \div 8 = 1.5 \text{ m/s}$$

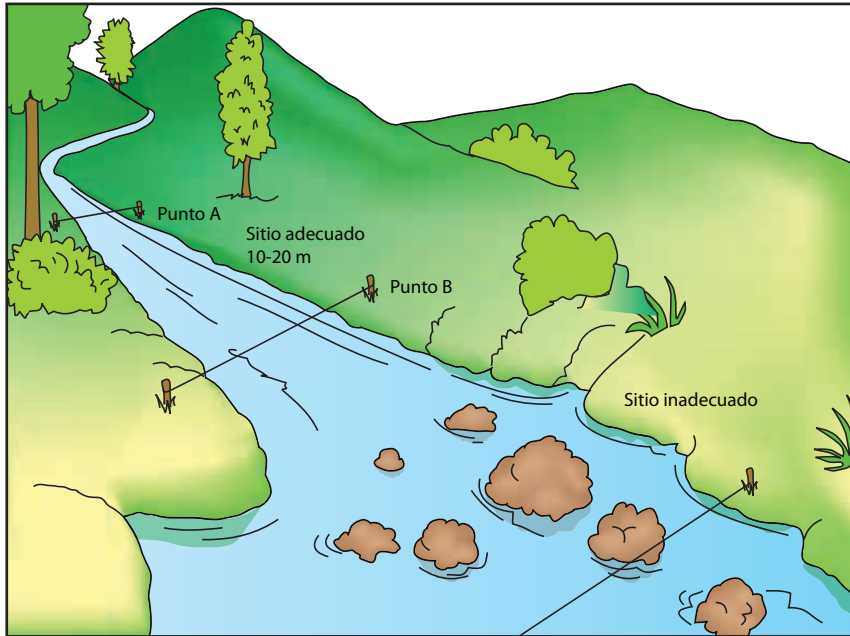


Figura 16. Esquema para la medición de la velocidad de la corriente de la quebrada.

c. Paso 3. Medición del área de la sección transversal de la quebrada

Un método práctico, con aceptable aproximación para calcular el área transversal, es tomar la profundidad promedio. Esto consiste en dividir el ancho de la quebrada en por lo menos tres partes (preferiblemente cinco), y medir la profundidad en cada punto para luego calcular el promedio.

Por ejemplo, consignemos los resultados de las mediciones de la profundidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de la medición de la profundidad de la quebrada en su sección transversal.

Profundidad	m
h ₁	0.00
h ₂	0.22
h ₃	0.35
h ₄	0.44
h ₅	0.30
h ₆	0.00

Calculamos ahora, la profundidad promedio de conformidad con los valores expuestos en el Cuadro 3:

Puesto que la profundidad promedio, $h = (h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+h_6) \div 6$, para nuestro ejemplo,

tenemos:

$$h = (0+0.22+0.35+0.44+0.30+0) \div 6 = 0.22 \text{ m.}$$

Una vez que se ha determinado el valor promedio de la profundidad, se procede a realizar la medición del ancho de la quebrada. Supongamos que para nuestro ejemplo, ese valor es 2.4 m.

El área de la sección transversal (A) de la quebrada se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$A = \text{Ancho} \times \text{profundidad promedio}$$

Para nuestro ejemplo, el área de la sección transversal es igual a:

$$A = 2.4 \text{ m} \times 0.22 \text{ m} = 0.53 \text{ m}^2$$

d. Paso 4. Cálculo del caudal de la quebrada

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal de la quebrada (Q), en base a la siguiente ecuación:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = \text{Velocidad (m/s)} \times \text{Area transversal (m}^2\text{)} \times \text{Factor de corrección}$$

Para nuestro ejemplo, tenemos:

Velocidad: 1.5 m/s

Área transversal: 0.53 m²

Factor de corrección: 0.50

Entonces, el caudal, será: $Q = 1.5 \times 0.53 \times 0.50 = 0,398 \text{ m}^3\text{/s}$

o igual a, $Q = 398 \text{ l/s}$, en razón que 1 m^3 es igual a 1,000 l.

d. Medición con molinete

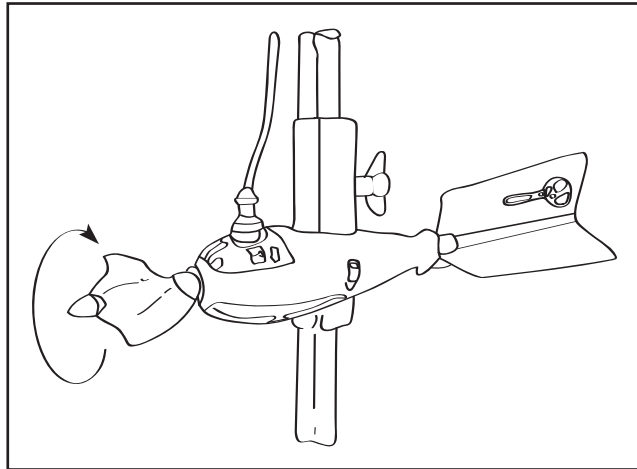
Una determinación más exacta de la velocidad se puede obtener utilizando un molinete o corrientómetro.

Entre los tipos de molinete están el de taza cónica, el cual gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice, el cual gira sobre un eje horizontal (Figura 17). En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado, ya sea con un contador digital o como golpes oídos en los auriculares que lleva el operador.

En las corrientes superficiales se montan pequeños molinetes sobre barras que sostienen operarios que caminan por el agua. Cuando hay que medir caudales de una avenida en grandes ríos, las lecturas se toman desde un puente o instalando un cable suspendido por

encima del nivel máximo de la avenida; el molinete se baja por medio de cables con pesas para retenerlo contra la corriente del río.

El fabricante de estos aparatos entrega los valores o correlación del número de vueltas por segundo y la velocidad de la corriente en cada unidad. Generalmente los molinetes se utilizan para medir velocidades entre 0.2 y 5.0 m/s, con un error probable de 2%.



4.2.2. Salto de agua (desnivel o altura) Figura 17. Molinete tipo hélice.

Es la diferencia de elevación (m) entre la boca toma aguas arriba y el rodete de la turbina en la casa de máquinas. Nos determina la carga hidráulica, a mayor altura mayor potencial de generación hidroeléctrica. Se debe recorrer un tramo sobre la vertiente de agua evaluada buscando la parte que tenga la mayor diferencia de altura en el trayecto más corto para ubicar la bocatoma y la turbina.

Previo a la elaboración de un estudio de factibilidad para desarrollar un proyecto de microcentral, es importante realizar adecuadamente las mediciones preliminares del salto de agua o caída vertical de la quebrada preseleccionada. Para medir el desnivel aprovechable deben evaluarse, en campo, la ubicación de la cámara de carga o boca toma y de la casa de máquinas.

Para medir el desnivel que puede lograrse dentro de longitudes aceptables de las obras de conducción (canales y tuberías), existen distintos métodos, entre ellos se mencionan: clinómetros o nivel Abney, manguera y manómetro, y niveles; cada uno de ellos con características sobre la precisión en la medición.

Para efectos de estimaciones preliminares, la medición de salto de agua o desnivel se puede realizar con el uso de un GPS de precisión con altímetro barométrico, el cual mediante la diferencia de altitud (msnm) entre el punto definido de la bocatoma y el punto de la casa máquinas se obtiene la altura total de caída. Es recomendable verificar los valores obtenidos con otro método de mayor precisión porque el altímetro puede tener errores considerables.

Además se pueden utilizar otros sistemas de medición tales como:

a. Medición con manguera

Para medir la caída vertical la manguera se llena de agua y se sacan todas las burbujas, aunque es un sistema lento, es de bajo costo y da buenos resultados. Para efectuar la revisión se requieren dos personas y se usa el mismo método que usan los albañiles: una manguera

de plástico transparente de unos 20 m de largo y $\frac{3}{8}$ de diámetro se llena de agua, dejando unos 30 cm vacíos en un extremo. Para evitar errores en las lecturas se sacan todas las burbujas de aire, así al levantar los extremos de la manguera el agua siempre buscará el mismo nivel. Se utilizan estacas clavadas al suelo y desde una marca superior se toman las lecturas hacia abajo, hasta el lugar donde se espera instalar la turbina. Para obtener el desnivel total se suman todos los valores obtenidos, tanto en el registro de desnivel como en la longitud desde el sitio probable de la presa hasta la casa de máquinas.

Una variante de este método se hace colocando un manómetro de baja graduación -no mayor a 10 psi- en un extremo de la manguera y se extiende la manguera por tramos que se marcan con estacas y se anotan las lecturas de presión que da el manómetro en cada estación. La suma de las presiones registradas da el cálculo de desnivel total. Cada libra por pulgada cuadrada (psi) en el manómetro equivale a 2.31' de altura vertical (0.70 m) y cada metro de desnivel aplica 1.42 psi sobre el manómetro.

En el Cuadro 4 se presenta un ejemplo ilustrativo del registro de los datos obtenidos durante la medición de altura usando el método de manguera con manómetro.

Cuadro 4. Lecturas obtenidas durante la medición.

Estación ¹	Distancia (m)	Presión (psi)	Altura (m)
1	0-30	10	7
2	30-60	8	5.6
3	60-90	12	8.4
20	570-600	6	4.2
Total	600	115	80.5

¹ Lecturas tomadas desde la estación 1 a la estación 20.

Es importante que al llenar la manguera no queden burbujas de aire dentro de la misma porque alteran la confiabilidad en las lecturas. También se debe manejar el manómetro y la manguera con mucho cuidado para que no se rompa la aguja del aparato. Para obtener la lectura de presión confiable es necesario calibrar el manómetro de antemano, esto se hace midiendo una pared alta o la rama de un árbol con una cinta métrica y se utiliza como referencia de presión en el manómetro *versus* altura total

Una ventaja adicional en este método es que simultáneamente a la medición de caída vertical se mide la longitud del tramo entre la bocatoma y la casa de máquinas.



Figura 18. Para obtener la caída vertical con este método, se convierte la presión del manómetro (psi) a metros de columna equivalente.

b. Medición con clinómetro o nivel Abney

Es un instrumento de topografía muy sencillo pero requiere destreza para utilizarlo con precisión, se utilizan dos bastones de igual longitud clavados en el suelo y deben quedar a la altura del ojo. Se coloca el primero en el sitio destinado para la casa de máquinas y el segundo se lleva a una distancia de ± 30 m en dirección hacia la bocatoma manteniendo una línea visual sin obstáculos. Se mide la distancia entre los dos bastones y se anota esta distancia (distancia d). Algunos clinómetros ya traen incorporado un distanciómetro para tomar las lecturas de distancia, en caso contrario se utiliza una cinta métrica larga.



Figura 19. Nivel Abney o inclinómetro.

Se lee cuidadosamente el ángulo entre los puntos superiores de los bastones y se anota en la libreta de campo. Hay que mantener completamente vertical ambos bastones y el clinómetro descansa sobre el bastón #1.

Este proceso se repite hasta llegar al nivel propuesto para el vertedor de la presa. Los desniveles entre cada par de estaciones se calculan por medio de la Ley de los Senos y se suman para obtener la caída vertical total.

$$\text{Elevación } H = \text{distancia} \times \text{seno } (A)$$

Ejemplo:

Cuadro 5. Lecturas obtenidas empleando el clinómetro o nivel Abney.

Estación	Distancia (m)	Angulo A	D x seno A
1	31.5	14° 30'	7.89
2	29.0	7° 15'	3.66
11	23.1	10° 20'	4.14
Caída total			57 m

c. Medición con altímetros digitales

Probablemente este sea el método más caro para medir la caída vertical, aunque es el más simple y más rápido. Como el altímetro mide las elevaciones en base a las variaciones de presión atmosférica, el usuario solamente tiene que registrar una lectura en el sitio propuesto para la bocatoma y otra en el lugar de la casa de máquinas para determinar el desnivel.

Sin embargo, factores tales como cambios de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa causan muchas variaciones en estos aparatos. También afecta el grado de precisión en la lectura la calidad del aparato que se está utilizando. La mejor manera de anular los efectos del tiempo es que se utilicen dos altímetros idénticos y se tomen las lecturas simultáneamente. Se mantiene fijo en una sola posición, sea la casa de máquinas o la bocatoma, para verificar los cambios de presión atmosféricos y el otro se utiliza para calcular el desnivel. Como es fácil repetir las mediciones varias veces para verificar el desnivel se toma el tiempo que una persona tarda en llegar al segundo lugar. Se coordinan los relojes para tomar una nueva lectura al mismo tiempo y se restan las dos lecturas para conocer la caída vertical.



Figura 20. Medición de caída vertical utilizando el nivel Abney.

d. Medición con nivel de burbujas

Aunque existen variaciones en la medición de caída con un nivel de burbujas, todas siguen el mismo principio pero se trata de efectuar un mínimo de estaciones. Básicamente se empieza en el lugar de la casa de máquinas y se coloca el nivel sobre una estaca de longitud apropiada para mantener el nivel a la altura del ojo, dirigiendo la línea visual sobre el canto

de desnivel hacia adelante hasta que coincida con la superficie del terreno. Se marca la segunda estación y se mide la altura “h” en la primera estación, simultáneamente se mide la longitud entre los puntos 1 y 2 y se registra en la libreta de campo. Sucesivamente se progresa en la medición hacia arriba hasta llegar al nivel de la bocatoma y la suma de las “h” representa la caída tota. La suma de distancia entre estaciones representa la longitud del tramo entre la casa de máquinas y la bocatoma.

e. Medición con nivel de topógrafo

Se utiliza un lente de aumento tipo monóculo colocado sobre un plato giratorio a nivel y un trípode y se toma la distancia siempre hacia abajo, siguiendo la línea convenientemente despejada para observar el punto indicado en una estadia muy larga para reducir el número de estaciones. Se requiere observar el nivel de burbuja y ajustar el trípode en cada estación antes de efectuar la comprobación de la línea visual horizontal y siempre se hace con dos personas, una que mueve la estadia y otra para manejar el trípode y el nivel. Los errores en el posicionamiento del trípode para mantener el nivel horizontal pueden afectar la precisión de la medida, especialmente en pendientes muy empinadas. Con este método se agiliza la medición de caída vertical y la longitud en la tubería entre la bocatoma y casa de maquinas. La caída total es el producto de la sumatoria de las lecturas de la estadia menos el total de las alturas de trípode registradas en la libreta de campo en cada estación.

4.2.3. Cálculo de potencia de generación hidroeléctrica

La potencia que puede generar una quebrada es el producto del desnivel o caída vertical y del caudal. La caída vertical se mide desde la superficie del agua en la bocatoma hasta la salida de la boquilla inferior en la Micro Turbina Pelton. A mayor caída vertical corresponde una mayor potencia y mayor rotación del eje de la turbina. No se debe confundir la caída o altura vertical con la longitud de la tubería.

Debido a que a mayor longitud de la tubería de presión se incrementan los costos en material e instalación y suben las pérdidas por fricción -independientemente del tipo de material de la tubería- es conveniente localizar sitios con la mayor caída posible en menor distancia.

Para calcular la potencia hidráulica de un río o quebrada se multiplica el desnivel o altura (m) por el caudal (litros por segundos) por la constante fuerza de gravedad (9.81 m/s²).

$$P_{hid} = H \times Q \times 9.81 = \text{Watts}$$

Para obtener la potencia eléctrica real hay que trabajar en base a la eficiencia de cada uno de los componentes que forman parte del esquema de generación eléctrica: tubería a presión, turbina, generador y línea de transmisión = 0.95 x 0.75 x 0.85 x 0.90 = Eficiencia aproximada de 55–66%.

Ejemplo:

¿Cuál es el potencial de generación de una quebrada con una caída vertical de 60 m y un caudal de diseño de 25 l/s?

$$\begin{aligned}H &= 60 \text{ m} \\Q &= 25 \text{ l/s (0.025 m}^3\text{/s)} \\g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\P &= \text{¿ ?}\end{aligned}$$

$$P = 60 \times 0.025 \times 9.81 = 14,715 \text{ Watts (14.7 kW)}$$

Aceptando una eficiencia del 60% en el sistema se obtendrá:

$$P = 14.7 \times 0.60 = 8.82 \text{ kW de generación eléctrica}$$

4.3. Aceptación de la comunidad

Una vez abordados los aspectos técnicos para la factibilidad de un sistema MHC, es importante que la comunidad en asamblea comunitaria tome la decisión si acepta la implementación del sistema para el abastecimiento de energía eléctrica a baja escala. La comunidad deberá conocer la capacidad real del sistema a instalar para definir un balance entre la capacidad de generación y la satisfacción de la demanda de energía eléctrica para iluminación entre los beneficiarios. Esto permitirá que la población adquiera un compromiso de apoyar todas las acciones que conduzcan a la instalación del sistema.

La población beneficiaria deberá considerar el pago de una tarifa por el servicio recibido, el cual sería destinado a sufragar aquellos costos de operación y mantenimiento y contar con un fondo para reparaciones o reemplazo de equipo.

4.4. Equipo apropiado y presupuesto

Al momento de planificar la instalación de una MHC se debe considerar que el equipo a instalar sea de calidad y de acuerdo a las normas técnicas dictadas por el personal técnico a cargo del proyecto. Las obras de infraestructura deben establecerse de acuerdo a los criterios y especificaciones técnicas para su óptimo funcionamiento. Es importante el empleo de mano de obra calificada en la instalación de una MHC.

La elaboración de un presupuesto permitirá definir el costo de la obra, tipo de materiales y equipo a utilizar y si estos se encuentran disponibles en el mercado nacional. Con esto la comunidad podrá realizar las gestiones necesarias para la obtención de recursos económicos para la instalación de la MHC.

4.5. Desarrollo de las obras civiles

El desarrollo de las obras civiles contempladas en la implementación de un sistema MHC deberá de cumplir con los lineamientos y especificaciones técnicas adecuadas, a fin de garantizar una vida útil del proyecto. Su ejecución estará a cargo de las personas que serán

beneficiadas, quienes formarán cuadrillas de trabajo que estarán bajo la supervisión y asesoría técnica del personal técnico calificado. Esto permitirá que la comunidad aporte la mano de obra en forma organizada y oportuna durante la etapa de construcción de las diferentes obras civiles que conformarán el sistema.

La comunidad debe elaborar un plan de trabajo en el cual se establece un sistema de rotación de los beneficiarios, a fin de garantizar la participación de ellos en la implementación del sistema.

4.6. Instalación del sistema

La instalación del sistema estará directamente a cargo del personal técnico calificado para tal fin, el cual además se asistirá y acompañará del apoyo de los pobladores de la comunidad beneficiaria. Es importante considerar las medidas de seguridad que deben seguirse durante el funcionamiento del sistema para prevenir cualquier situación de riesgo en las acciones de operación y mantenimiento.

4.7. Capacitación

Considerando que en algunos proyectos no se ha brindado el mantenimiento adecuado para el funcionamiento óptimo de la MHC, se debe establecer un plan de capacitación en la comunidad en el que participen las personas que estarán a cargo del manejo del sistema. Se deberá de seleccionar dentro de la comunidad dos personas responsables directamente de la operación y mantenimiento del sistema, los cuales tendrán que ser debidamente entrenados mediante un plan de capacitación de largo plazo para que sea efectivo y consistente.

La capacitación del personal deberá ser orientada a proveer de los conocimientos básicos para la operación y mantenimiento de un proyecto MHC, llevando un programa de mantenimiento realista y apropiado para cada componente del sistema; esto significa además, contar con un plan preventivo y de respuesta ante posibles averías, así como también el uso de una bitácora para llevar el registro de los mantenimientos efectuados. Esta actividad debe ejecutarse previo a la entrega del sistema a la comunidad, a efecto de garantizar un desempeño prolongado y confiable del proyecto en beneficio de los usuarios.

Como parte del entrenamiento, la organización supervisora debe asistir a la comunidad periódicamente y monitorear el estado del proyecto, evaluar la calidad de las reparaciones efectuadas y verificar las modificaciones al sistema, si las hubiere.

Es importante además tomar en cuenta la capacitación de más personas dentro de la comunidad que estén preparadas para asumir las tareas en caso de que los operadores seleccionados no estén disponibles por razones ajenas a su voluntad.

V. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA MHC

Con el propósito de que los participantes (instituciones, comunidad, personal técnico y autoridades) en el proceso de implementación de una MHC, cuenten con mayores elementos para su planificación, es importante considerar una serie de recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta para lograr el éxito en esta actividad.

5.1. Preselección de sitios adecuados

Elegir el sitio adecuado que permita pre-factibilizar el proyecto, evitando de esta manera imprevistos de orden mayor que signifiquen un riesgo para la implementación del mismo.

5.2. Medición y monitoreo de caudales

Los caudales de las fuentes de agua previamente seleccionados, deben ser monitoreados en distintas épocas del año para conocer las variaciones cíclicas de las fuentes, enfatizando en la medición del caudal en el verano para tomar la información recolectada como referencia del caudal mínimo.

La medición del caudal mínimo es importante para determinar la potencia que se puede generar permanentemente y la capacidad del equipo electromecánico que se debe instalar.

5.3. Equipo y materiales disponibles

Es importante considerar el tipo y la disponibilidad del equipo electromecánico (turbina, generador, etc.), los materiales necesarios y costos actuales.

5.4. Infraestructura y distribución comunitaria

La condición de las comunidades con una amplia e irregular dispersión de viviendas, reduce la calidad del potencial de energía eléctrica que ha de recibir cada abonado, así también, encarecerá los costos globales del proyecto.

Además, es preciso efectuar un levantamiento de la demanda por el número de casas ubicadas dentro del radio de 1.0 km y conocer cuantas familias estarán dispuestas a pagar por el servicio de electricidad y aportar la mano de obra requerida.

La situación de la considerable distancia desde el sitio de la casa de máquinas hasta las comunidades es un factor que encarece la implementación de sistemas de hidroenergía, esto

debido al mayor requerimiento de los materiales y accesorios eléctricos. Además, que reduce la calidad de energía hacia el abonado.

La condición de largas distancias y difícil acceso a las comunidades para el establecimiento de este tipo de proyectos encarece los costos regulares, tanto por transporte de materiales como por concepto de servicios profesionales.

5.5. Condición de la demanda comunitaria y sus responsabilidades

Se deberá determinar si en la comunidad seleccionada priva el deseo de electrificación local, disposición a pagar y capacidad para operar el proyecto.

Verificar la viabilidad en base a la demanda *versus* el potencial de generación eléctrica de la fuente de agua seleccionada. Por lo tanto se debe considerar la relación de costo beneficio previo a la implementación de estos proyectos, ya que la relación de oferta y demanda podría no llegar a satisfacer las necesidades del usuario respecto al costo y aporte de la contraparte local.

Para garantizar el éxito, la instalación se hace con la activa participación de la comunidad y su compromiso de trabajo. De esta forma se puede garantizar la sostenibilidad del proyecto pues asegura el contacto de los residentes con todos los componentes y procesos de construcción y operación de la microcentral. Solo así se logrará una verdadera y eficaz transferencia tecnológica.

5.6. Gestión y manejo de proyectos de MCH

Al momento de planificar la ejecución de un proyecto MHC, se deberá de considerar siempre el marco institucional y procedimientos legales-administrativos relacionados a estos, a fin de abordar las instancias pertinentes

La implementación de proyectos de hidroenergía se deberá de manejar de una manera integral hacia el manejo del recurso hídrico (microcuenca), a fin de garantizar la sostenibilidad de los mismos, previendo el involucramiento de la población en su totalidad en cada fase del proyecto.

Para la gestión de fondos se deberá de involucrar a las comunidades beneficiadas como principales actores en este proceso, ya que es en ese momento en donde se deben de dejar establecidas las responsabilidades de las distintas partes al momento de ejecutar estos tipos de proyectos.

Es así que, preferiblemente se deben presentar los resultados del estudio preliminar a la comunidad en asamblea pública y abierta, sobre estimando los costos generales y subestimando la potencia disponible. Explicar las responsabilidades para financiar, operar y administrar el proyecto.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Einsenring, M. 1991. Micro Pelton Turbines. MHPG series Vol. 9. Swiss Center for Appropriate Technology. Sankt Gallen, Switzerland.
- European Small Hydropower Association. 2004. Guide on How to Develop a Small Hidropower Plant. European Renewable Energy Council.
- Harvey, A; et al. 2006. Microhydro Design Manual, ITDG Publishing Bourton Hall Warwick shire, UK.
- Inversin, A. R. 1986. Microhidropower Sourcebook NRECA International Foundation, Washington D.C. 20036.
- Meier, U. 1981. Experiencias locales con micro tecnologías. Centro Suizo de Tecnología Apropiada. Sankt. Gallen, Suiza.
- Micro Hydropower System: A buyer's Guide. 2004. CANMET Energy Technology Center, Natural Resources, Canada.
- Russell, G.E. 1985. Hidraulics. Holt, Rinehart and Wiston, Inc. Cambridge, Massachussets. Traducción Guillermo A. Fernández de Lara.
- Sánchez, T. y Ramírez, G. 1995. Manual de mini y microcentrales hidráulicas ITDG. Lima, Perú.
- Simon, L. A. 1981. Practical hydraulics. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Smith, N. 1994. Motors as generators for microhidropower. ITDG Publishing. Southampton Row, London, UK.
- Trueba, S. 1970. Hidráulica. Compañía Editorial Continental S.A. Mexico, DF.
- Thake, J. 2000. The microhidro Pelton turbine manual. ITDG Publishing. London, UK.
- Widmer, R and Arter, A. 1992. Village Electrification. MHPG series Vol. 5. Swiss Center for Appropriate Technology. Sankt St Gallen, Switzerland.
- Williams, A. 1997. Pumps as turbines, A user's guide. Intermediate Technology Publications Ltd. 103-105 Southampton Row, London, UK.

VII. GLOSARIO

Alumbrado domiciliario	El sistema eléctrico de una casa.
Altimetro	Aparato que utiliza la presión barométrica para medir la diferencia de elevación entre dos puntos.
Cámara de carga o bocatoma	Estructura que a veces se construye frente al comienzo de la tubería de presión para asegurar suficiente carga hidráulica sobre la tubería de salida.
Casa de máquinas	Estructura sencilla en la que se instala y protege la turbina, generador, panel de control y dispositivos de regulación.
Caudal ecológico	Caudal reglamentario que se debe mantener para reducir el impacto sobre la vida acuática en el tramo de la quebrada comprendido entre la bocatoma y el canal de desagüe de la turbina.
Corriente eléctrica	El movimiento positivo o negativo de partículas eléctricas – electrones- acompañado de un efecto visible como la generación de calor o un campo magnético.
Eficiencia	La capacidad de producir los resultados deseados con un mínimo costo de energía, tiempo, dinero o materiales involucrados en un proyecto.
kW	Unidad de potencia-kilo watt= 1000 Watts.
MW	Unidad de potencia-mega watt= 1 millón de Watts.
Potencia	Medición de energía suplida y demanda. Se expresa en vatios (W) o kilo vatios (kW). Tiene distintas formas como la potencia hidráulica, mecánica y eléctrica.
psi	Libras por pulgada cuadrada. Forma usual de registrar presiones hidráulicas en tuberías.
Sistema de distribución	Sistema de cables que conecta el punto de generación con las casas.
Válvula	Dispositivo usado para regular el flujo de agua en la tubería de presión.

Guía Metodológica para el Establecimiento de Microcentrales Hidroeléctricas en Areas Rurales

La Lima, Cortés, C.A.
Abril de 2009



ISBN: 978-99926-762-3-3



9 789992 676233